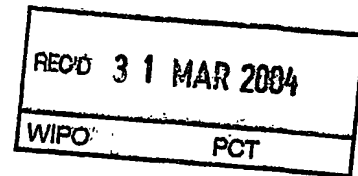


**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**BEST AVAILABLE COPY**

**Aktenzeichen:** 103 03 506.0

**Anmeldetag:** 30. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

**IPC:** G 01 R 31/36

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 9. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
 Im Auftrag

**PRIORITY DOCUMENT**  
 SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
 COMPLIANCE WITH  
 RULE 17.1(a) OR (b)

Wallner

15.01.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Beschreibung

Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren  
Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von  
Zustandsgrößen und Parametern eines mathematischen  
Energiespeichersmodells, insbesondere eines Batteriemodells,  
gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie einen  
Zustandsgrößen- und Parameterschätzer gemäß dem Oberbegriff  
15 des Patentanspruchs 9.

- In elektrischen Netzen, wie beispielsweise Kfz-Bordnetzen,  
werden i.d.R. mehrere elektrische Verbraucher von einem  
elektrischen Energiespeicher, wie z.B. einer Batterie mit  
20 Leistung versorgt. Zur Durchführung eines Energie- und  
Verbrauchermanagements, bei dem Verbraucher je nach Bedarf  
automatisch zu- und abgeschaltet werden können, ist die  
Kenntnis der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers von  
wesentlicher Bedeutung. Bei Kenntnis der Leistungsfähigkeit  
25 des Energiespeichers, insbesondere der noch entnehmbaren  
Ladung bis zur Unterschreitung einer geforderten  
Mindestleistungsfähigkeit z.B. für einen Motorstart, können  
noch vor Eintritt einer Unterversorgung verbrauchsmindernde  
oder leistungserhöhende Maßnahmen, wie z.B. das Abschalten  
30 bestimmter Verbraucher, eingeleitet und somit ein Ausfall der  
elektrischen Versorgung verhindert werden.

- Zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers,  
ist es bekannt, mathematische Modelle zu verwenden, welche  
35 die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers  
beschreiben. Mit Hilfe der mathematischen Modelle kann unter  
Berücksichtigung aktueller Betriebsgrößen des

Energiespeichers, wie z.B. einer aktuellen Batteriespannung  $U_{\text{Batt}}$ , dem aktuellen Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  und der aktuellen Batterietemperatur  $T_{\text{Batt}}$ , die Leistungsfähigkeit des  
5 Technik bekannte Vorrichtung zur Bestimmung der aus einem  
Energiespeicher entnehmbaren Ladung ist in Fig. 1  
dargestellt.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Bestimmung der aus einem  
10 Energiespeicher, insbesondere aus einer Fahrzeugbatterie, bis  
zu einem vorgegebenen Entladeschlusskriterium entnehmbaren  
Ladung. Die Vorrichtung umfasst einen Zustandsgrößen- und  
Parameterschätzer 1, sowie einen Ladungsprädiktor 2, in dem  
das mathematische Energiespeichermodell hinterlegt ist. Der  
15 Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 dient dazu, aus den  
aktuellen Betriebsgrößen der Batterie, nämlich der  
Batteriespannung  $U_{\text{Batt}}$ , dem Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  und der  
Batterietemperatur  $T_{\text{Batt}}$ , Zustandsgrößen  $Z$  und/oder Parameter  
 $P$  zu berechnen, auf deren Grundlage der Ladungsprädiktor 2  
20 die gewünschte Information, wie z.B. die aus der Batterie  
entnehmbare Ladung  $Q_e$ , oder andere Größen, wie beispielsweise  
die Zeit  $t_e$  bis zum Erreichen eines Entladeschlusskriteriums  
oder den Ladezustand SOC berechnet. Dem Ladungsprädiktor 2  
kann ferner ein Entladestromverlauf  $I_{\text{Batt,Entl}}$ , sowie ein  
25 Temperaturverlauf  $T_{\text{Batt,Entl}}$  zugeführt werden.

Als Zustandsgrößen  $Z$  gelten in dieser Beschreibung  
insbesondere interne Spannungen  $U$ , die sich aus dem  
jeweiligen Ersatzschaltbild des Energiespeichers bzw. dem  
30 zugrundeliegenden mathematischen Modell ergeben. Bei den  
genannten Parametern handelt es sich um konstante Werte, wie  
z.B. Widerstände  $R$  und Kapazitäten  $C$  im Ersatzschaltbild bzw.  
mathematischen Energiespeichermodell.

35 Die vom Ladungsprädiktor 2 durchgeführte Ladungsberechnung  
erfolgt ausgehend vom aktuellen Zustand des Energiespeichers.  
Die im Ladungsprädiktor 2 hinterlegten mathematischen Modelle

werden daher zunächst auf den aktuellen Betriebszustand des Energiespeichers initialisiert. Hierzu liefert der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 die entsprechenden Anfangswerte. Als Zustandsgrößen- und Parameterschätzer kann  
 5 beispielsweise ein bekanntes Kalman-Filter verwendet werden. Ausgehend vom Initialisierungszustand kann der Ladungsprädiktor 2 z.B. die aus dem Energiespeicher entnehmbare Ladung  $Q_e$  für einen vorgegebenen Entladestrom und ein aktuelle Batterietemperatur berechnen.

10

Fig. 2 zeigt ein Beispiel eines Ersatzschaltbildes für den Entladebetrieb eines Bleiakkumulators ( $I_{Batt} < 0A$ ,  $U_{Dp} < 0V$ ,  $U_{Dn} < 0V$ ). Die einzelnen Ersatzschaltbildgrößen sind dabei wie folgt, von links nach rechts:

15

$R(U_{C0}, U_e, T_{Batt})$  Ohmscher Innenwiderstand, abhängig von der Ruhespannung  $U_{C0}$ , der Elektrolytspannung  $U_e$  und der Säuretemperatur  $T_{Batt}$

$U_{Ri}$  ohmscher Spannungsabfall

20

$C_0$  Säurekapazität

$U_{C0}$  Ruhespannung

$R_k(U_{C0}, T_{Batt})$  Säurediffusionswiderstand, abhängig von der Ruhespannung  $U_{C0}$  (Entladegrad) und der Säuretemperatur  $T_{Batt}$

25

$\tau_k$  =  $R_k * C_k$  (Zeitkonstante der Säurediffusion) wird als konstant in der Größenordnung von 10min angenommen

$U_k$  Konzentrationspolarisation

$U_e$  =  $U_{C0} + U_k$  (Elektrolytspannung)

30

$U_D(I_{Batt}, T_{Batt})$  Stationäre Durchtrittspolarisation an der positiven Elektrode der Batterie ( $U_{Dp}$ ) und der negativen Elektrode ( $U_{Dn}$ ), abhängig vom Batteriestrom  $I_{Batt}$  und der Säuretemperatur  $T_{Batt}$

35

$U_{Batt}$  Klemmenspannung der Batterie

Die einzelnen Ersatzschaltbildgrößen sind zurückzuführen auf verschiedene physikalische Effekte der Batterie, die dem Fachmann aus der einschlägigen Literatur bekannt sind.

- 5 Für den ohmschen Innenwiderstand  $R_i$  kann beispielsweise folgende Beziehung angesetzt werden:

$$R_i(U_{C0}, U_e, T_{Batt}) = R_{i0}(T_{Batt}) * (1 + R_{I,fakt} * (U_{C0max} - U_{C0}) / (U_e - U_{e,grenz})),$$

10

$$R_{i0}(T_{Batt}) = R_{i025} / (1 + TK_{Lfakt}) * (T_{Batt} - 25^{\circ}C)$$

dabei sind:

- |    |               |  |
|----|---------------|--|
| 15 | $R_{i025}$    | ohmscher Innenwiderstand bei Vollladung und $T_{Batt} = 25^{\circ}C$ |
|    | $TK_{Lfakt}$  | Temperaturkoeffizient des Batterieleitwerts                          |
|    | $R_{I,fakt}$  | Kennfeldparameter  |
|    | $U_{C0max}$   | maximale Ruhespannung der vollgeladenen Batterie                     |
| 20 | $U_{e,grenz}$ | Elektrolytspannung bei Entladeschluss (alterungsabhängig)            |

- 25 Für andere Ersatzschaltbildgrößen (z.B.  $U_D$ ,  $U_k$ ) umfasst der Ladungsprädiktor 2 entsprechend andere geeignete mathematische Ansätze. Das mathematische Modell des Energiespeichers umfasst wenigstens für den Innenwiderstand  $R_i$ , den Säurediffusionswiderstand  $R_k$  und eine Durchtrittspolarisation  $U_D$  mathematische Ansätze.

- 30 Die Zustandsgrößen liefern die Information über den Energieinhalt der Energiespeicher eines Systems. Sie entsprechen im Ersatzschaltbild den Spannungen an den Kapazitäten, also  $U_{C0}$  und  $U_k$ . Zur modellbasierten Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Energiespeichers müssen außer den
- 35 Zustandsgrößen auch die Modell-Parameter bekannt sein. Insbesondere müssen stark alterungsveränderliche Parameter

wie die Parameter  $R_{1025}$  und  $U_{e, \text{grenz}}$  der Kennlinie des ohmschen Innenwiderstands adaptiert werden.

Die vom Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 ermittelten  
5 Zustandsgrößen  $Z$  und Parameter  $P$  können beispielsweise zur Bestimmung des Ladungszustands der Batterie, einer aktuellen oder zukünftigen Leistungsfähigkeit, sowie z.B. der aus dem Energiespeicher entnehmbaren Ladung genutzt werden.

10 Herkömmliche Prädiktoren (Schätzvorrichtungen), wie z.B. der in Fig. 1 gezeigte Ladungsprädiktor 2, umfassen meist sehr aufwändige Modelle mit vielen Zustandsgrößen und Parametern, die das Verhalten des Energiespeichers über einen großen Arbeitsbereich abdecken. Die Berechnung der Zustandsgrößen  
15 und Parameter ist dementsprechend aufwändig und kompliziert. Andere Prädiktoren umfassen dagegen einfache Modelle mit wenigen Zustandsgrößen und Parametern, die das Verhalten des Energiespeichers jedoch nur in bestimmten Arbeitspunkten oder bei bestimmten Frequenzen beschreiben.

20 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein einfaches und schnelles Verfahren zur Abschätzung von Zustandsgrößen und/oder Parametern für ein mathematisches Energiespeichermodell zu schaffen, das im wesentlichen über  
25 den gesamten Arbeitsbereich und Frequenzbereich des Energiespeichers gültig ist.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die in den Patentansprüchen 1 und 9 angegebenen Merkmale. Weitere  
30 Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, im Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mehrere mathematische  
35 Teilmodelle zur Abschätzung von Zustandsgrößen und/oder Parametern vorzusehen, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche des Energiespeichers gelten. Die

Arbeits- und/oder Frequenzbereiche der einzelnen Teilmodelle können sich dabei überlappen. Insgesamt decken die Teilmodelle im wesentlichen den gesamten Frequenz- und Arbeitsbereich des Energiespeichers ab.

5

Somit ist eine kontinuierliche Schätzung von Zustandsgrößen- und Parametern im gesamten Arbeits- und Frequenzbereich des Energiespeichers möglich. Durch die Nutzung der erfindungsgemäßen Teilmodelle kann die Anzahl der zu

10

schätzenden Zustandsgrößen und Parameter klein gehalten und damit die Gefahr einer mehrdeutigen Schätzung minimiert

werden. Ferner ist durch die Aufteilung in Teilmodelle eine effektivere Nutzung der Prozessorleistung möglich: „Langsame“ Teilmodelle mit großen Zeitkonstanten können unabhängig von

15

„schnellen“ Teilmodellen mit kleiner Abtastrate abgearbeitet werden.

Den Teilmodellen wird vorzugsweise ein Strom ( $I_{\text{Batt}}$ ) oder eine Spannung ( $U_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers zugeführt, wobei der Strom ( $I_{\text{Batt}}$ ) oder die Spannung ( $U_{\text{Batt}}$ ) durch ein Filter auf den für das jeweilige Teilmodell gültigen Frequenzbereich eingeschränkt wird. Den Teilmodellen können somit Hochpass-, Tiefpass- oder Bandpassfilter vorgeschaltet sein.

20

25

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers und einer von einem Teilmodell berechneten Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ,  $I_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell zurückgekoppelt (Selbstrückkopplung). Durch die Selbstrückkopplung können die zu berechnenden Zustandsgrößen und Parameter an den Ist-Zustand des Energiespeichers angepasst werden.

30

Wahlweise kann der Fehler auch in ein anderes Teilmodell rückgekoppelt werden (Fremdrückkopplung). Durch die Fremdrückkopplung können die Zustandsgrößen und Parameter,

35

die von mehreren Teilmodellen gleichzeitig berechnet werden, gegeneinander abgeglichen werden.

Die Fehler, die einem Teilmodell durch Selbstrückkopplung oder Fremdrückkopplung zugeführt werden, werden vorzugsweise mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet. Auf diese Weise kann die Empfindlichkeit eines Teilmodells gegenüber unterschiedlichen Fehlern eingestellt werden.

10 Zustandsgrößen und/oder Parameter, die von einem Teilmodell geschätzt wurden und auch in einem anderen Teilmodell enthalten sind, werden vorzugsweise auch dem anderen Teilmodell zugeführt. Dort können sie als Startwert, als Fixwert oder als Korrekturwert für die Schätzung dienen.

15 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Stimulationsvorrichtung vorgesehen, mit der eine den Teilmodellen zugeführte Betriebsgröße (Strom oder Spannung) in einen für das Teilmodell gültigen Arbeits- oder Frequenzbereich gebracht werden kann.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

25 Fig. 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung zur Berechnung der aus einem Energiespeicher entnehmbaren Ladung.

Fig. 2a ein Ersatzschaltbild für einen Bleiakkumulator während eines Entladevorgangs bei niedrigen Frequenzen;

Fig. 2b ein Ersatzschaltbild für einen Bleiakkumulator bei hohen Frequenzen;

35 Fig. 3 den Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers mit mehreren Teilmodellen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;



Fig. 4 ein Flussdiagramm zur Darstellung der Funktion eines Stimulators; und

- 5 Fig. 5 den Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers zur Berechnung des Innenwiderstands einer Batterie.

10 Bezüglich der Erläuterung der Fig. 1 und 2a wird auf die Beschreibungseinleitung verwiesen.

Fig. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers 1 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Wie zu erkennen ist, umfasst der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 mehrere Teilmodelle 4, 5, die jeweils  
15 nur in einem bestimmten Frequenz- und/oder Arbeitsbereich ( $f_1, A_1$  bzw.  $f_2, A_2$ ) gelten und die dadurch sehr einfach gehalten werden können. Die Teilmodelle 4, 5 decken in ihrer Gesamtheit aber den gesamten Frequenz- und Arbeitsbereich des  
20 Energiespeichers 3 ab.

Die Frequenzbereiche  $f_1, f_2, \dots$  als auch die Arbeitsbereiche  $A_1, A_2, \dots$  können sich teilweise überlappen. Die Gesamtheit der Teilmodelle 4, 5 sollte im günstigsten Fall den gesamten,  
25 zumindest jedoch einen möglichst großen Arbeits-  $A$  und Frequenzbereich  $f$  des Energiespeichers abdecken.

Der Arbeitsbereich eines Teilmodells 4,5 wird durch vorgegebene Bedingungen für den Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$ , die  
30 Batteriespannung  $U_{\text{Batt}}$ , die Batterietemperatur  $T_{\text{Batt}}$ , Zustandgrößen  $Z$  und Batterieparameter  $P$  definiert.

Einzelne Zustandsgrößen  $Z$  und Parameter  $P$  können gleichzeitig in mehreren Teilmodellen 4, 5 auftreten und geschätzt werden.

35

Der in Fig. 1 dargestellte Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 erhält an seinem Eingang kontinuierlich

- gemessene Batteriewerte, im vorliegenden Fall den Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  (wahlweise kann auch die Batteriespannung  $U_{\text{Batt}}$  zugeführt werden) und die Batterietemperatur  $T_{\text{Batt}}$ . Der Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  wird durch geeignete Tiefpass-, Hochpass- oder Bandpassfilter 6, 7, 8, 9 jeweils auf den Frequenzbereich  $f_1, f_2$  eingeschränkt, in dem das jeweilige Teilmodell 4, 5 gültig ist. Ein Teilmodell 4, 5 (z.B. das Teilmodell 4), das z.B. in einem Frequenzbereich  $f_1$  von mehr als 1 kHz gültig ist, hat im vorliegenden Fall einen vorgeschalteten Hochpassfilter 6. Dem Teilmodell 5 kann z.B. ein Tiefpassfilter 7, 9 vorgeschaltet sein. Deckt ein Teilmodell 4, 5 den gesamten Frequenzbereich  $f$  ab, können die Eingangsfilter 6, 9 für Strom und Spannung entfallen.
- Die Teilmodelle 4, 5 berechnen aus den zugeführten Größen jeweils eine Batterie-Zustandsgröße ( $I_{\text{Batt}}^{\wedge}$  oder  $U_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ). Der entsprechende Istwert ( $I_{\text{Batt}}$  oder  $U_{\text{Batt}}$ ) wird dem Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 als Messwert von außen zugeführt. Die Schätzwerte  $U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$ ,  $U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$  bzw. daraus abgeleitete Größen (Fehlersignale) werden in das jeweilige Teilmodell 4, 5 rückgekoppelt.

Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst Differenzknoten 17, 18, an denen ein Fehler (Differenzsignal) aus der geschätzten Batterie-Zustandsgröße  $U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$ ,  $U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$  und der jeweils gemessenen Batterie-Zustandsgröße  $U_{\text{Batt},1}$ ,  $U_{\text{Batt},2}$  gebildet wird. Die ermittelten Fehler ( $U_{\text{Batt},1} - U_{\text{Batt},1}^{\wedge}$ ,  $U_{\text{Batt},2} - U_{\text{Batt},2}^{\wedge}$ , ....) werden dann jeweils einer Gewichtungseinheit 10, 12 zugeführt und an Addierknoten 14, 15 geleitet.

- Bei der Fehlerrückkopplung kann zwischen Selbstrückkopplung und Fremdrückkopplung unterschieden werden. Im ersteren Fall wird der Schätzfehler eines Teilmodells (4) dem selben Teilmodell (4) zugeführt, im anderen Fall wird der Schätzfehler eines Teilmodells (4) einem anderen Teilmodell (5) zugeführt. An den Addierknoten 14, 15 wird aus den

einzelnen (gewichteten) Schätzfehlern ein Gesamtfehler erzeugt und dem jeweiligen Teilmodell 4,5 zugeführt.

5 Eine Fremdrückkopplung wird vorzugsweise nur dann realisiert, wenn bestimmte Zustandsgrößen Z oder Parameter P parallel in mehreren Teilmodellen auftreten. In diesem Fall können die Zustandsgrößen Z und Parameter P mit den anderen Teilmodellen abgeglichen werden.

10 Für eine Zustandsgröße  $Z_{1,j}$  im j-ten Teilmodell, die außerdem in den Teilmodellen  $i = j+1, \dots, j+n$  vorkommt, ergibt sich folgende Differenzengleichung:

$$15 \quad Z_{1,j,k+1} = f(Z_{j,k}, P_{j,k}, I_{\text{Batt},j,k}, T_{\text{Batt},k}) + \sum_{i=j+1}^n k_{z1,i,j} * (U_{\text{Batt},i,k} - U_{\text{Batt},i,k^{\wedge}}).$$

Dabei ist  $f(Z_{j,k}, P_{j,k}, I_{\text{Batt},j,k}, T_{\text{Batt},k})$  die rechte Seite einer Zustandsdifferenzengleichung für die Zustandsgröße  $Z_{1,j}$  des j-ten Teilmodells mit den Eingangsgrößen: Gefilterter  
20 Batteriestrom  $I_{\text{Batt},j,k}$  und Batterietemperatur  $T_{\text{Batt},k}$  sowie dem Parametervektor  $P_{j,k}$  im k-ten Zeitschritt.

Für einen konstanten Parameter  $P_{1,j}$  im j-ten Teilmodell, der außerdem in den Teilmodellen  $i = j+1, \dots, j+n$  vorkommt,  
25 ergibt sich:

$$P_{1,j,k+1} = P_{1,j,k} + \sum_{i=j+1}^n k_{p1,i,j} * (U_{\text{Batt},i,k} - U_{\text{Batt},i,k^{\wedge}})$$

Die Verstärkungen  $k_{i,j}$  der Gewichtungseinheiten 10-13 können  
30 bei einem Teilmodell 4, 5 entsprechend einem Luneberger-Beobachter durch Polvorgabe und bei Verwendung eines Kalman-Filters für die Teilmodelle 4, 5 durch Minimierung eines Gütekriteriums, wie z.B. der minimalen Schätzfehlervarianz, ermittelt werden.

35

Wenn sich der aktuelle Arbeitsbereich und/oder Frequenzbereich außerhalb des gültigen Arbeits- und/oder Frequenzbereichs eines Teilmodells 4, 5 befindet, darf keine Fehlerrückkopplung von einem solchen Teilmodell (z.B. Teilmodell 5) zu einem anderen Teilmodell erfolgen. Daher werden in einem solchen Fall vorzugsweise die Gewichtungsfaktoren  $k_{i,j}$  der entsprechenden Gewichtungseinheiten (z.B. Gewichtungseinheit 11) auf Null gesetzt. Das heißt,  $k_{i,j} = 0$ , falls der Arbeitsbereich des  $i$ -ten Teilmodells verlassen wird.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Anordnung wird dem Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 der Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  zugeführt. Gemäß einer anderen Ausführungsform (nicht gezeigt) kann den Teilmodellen 4, 5 auch eine (gefilterte) Batteriespannung  $U_{\text{Batt}}$  als Eingangsgröße zugeführt werden. Die Teilmodelle 4, 5 würden in diesem Fall eine Batteriespannung  $I_{\text{Batt}}$  abschätzen.

Zustandsgrößen und/oder Parameter, die von einem Teilmodell (4) geschätzt wurden und auch in einem anderen Teilmodell (5) enthalten sind, werden vorzugsweise auch dem anderen Teilmodell (5) zugeführt. Hierzu sind Verbindungsleitungen 30,31 vorgesehen. Im anderen Teilmodell (5) können die Werte als Startwert, als Fixwert oder als Korrekturwert für die Schätzung dienen.

Die Teilmodelle 4, 5 liefern neben den Zustandsgrößen  $Z$  und Parametern  $P$  auch die Fehlervarianzen ( $\text{var}_1, \text{var}_2, \dots$ ) der Größen. Damit kann z.B. beurteilt werden, ob die Genauigkeit der Schätzgrößen  $Z, P$  für nachfolgende Berechnungen des Ladezustands, der Leistungsfähigkeit und/oder der aus der Batterie entnehmbaren Ladung ausreicht.

Zur optimalen Ausnutzung sämtlicher Teilmodelle 4, 5 sollten die Betriebsgrößen der Batterie 3 im Laufe der Berechnung sämtliche Arbeits- und Frequenzbereiche der Teilmodelle 4, 5

durchlaufen. Liefert das elektrische Netz, an dem die Batterie 3 angeschlossen ist, zu wenig Anregungen (z.B. Lastschwankungen), können die Größen nicht genau genug geschätzt werden. Sind die Anregungen im Netz gering, kann  
5 z.B. der Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie 3 nur sehr ungenau geschätzt werden. Bei geringer Anregung über einen längeren Zeitraum können insbesondere bei sicherheitskritischen Anwendungen Probleme auftreten, da keine genaue Aussage über die Leistungsfähigkeit der Batterie getroffen werden kann.

10

Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst daher einen Stimulator 16, der in der Lage ist, aktiv in das elektrische Netz einzugreifen und den Arbeits- und/oder Frequenzbereich der Batterie 3 bzw. des Netzes in gewünschter  
15 Weise einzustellen. Der Stimulator 16 greift aktiv in das elektrische Netz ein, wenn die Fehlervarianz var vorgegebener Zustandsgrößen  $Z$  oder Parameter  $P$  für eine vorgegebene Zeitdauer zu groß ist. Dem Stimulator 16 werden die von den einzelnen Teilmodellen 4, 5 berechneten Varianzen var als  
20 Eingangsgrößen zugeführt.

Der Eingriff in das elektrische Netz durch den Stimulator 16 erfolgt z.B. durch Vorgabe einer neuen Generator-Sollspannung  $U_{\text{Gen, soll}}$  (bei einem Fahrzeuggenerator), einer Load-Response-  
25 Zeitkonstanten  $\tau_{\text{Gen}}$  eines Generatorreglers und/oder durch geeignete Verbraucher-Zu- oder Abschaltung. Hierdurch kann ein für die Schätzung der jeweiligen Zustandsgröße  $Z$  oder des jeweiligen Parameters  $P$  geeigneter Batteriestromverlauf  $I_{\text{Batt}}$ , Spannungsverlauf  $U_{\text{Batt}}$  und/oder Frequenzverlauf eingeprägt  
30 werden. Idealerweise wird der gewünschte Batteriestromverlauf  $I_{\text{Batt}}$  (oder ein Spannungsverlauf  $U_{\text{Batt}}$ ) so vorgegeben, dass er die Batterie 3 in einen Arbeitsbereich  $A$  überführt und in einem Frequenzbereich  $f$  anregt, in dem eines der Teilmodelle (z.B. Teilmodell 5) das die Schätzgröße enthält, besonders  
35 genau ist und somit die Schätzgröße sehr genau bestimmt werden kann. Dabei müssen natürlich der Abstand dieses neuen Arbeitsbereichs zum aktuellen Arbeitsbereich  $A$  der Batterie 3

und die maximal zulässigen Amplituden der Steuergrößen  $U_{\text{Gen,soll}}$ ,  $t_{\text{aGen}}$ ,  $I_{\text{Last}}$  sowie die maximal erlaubte Dauer des Steuereingriffs berücksichtigt werden.

5 Die Arbeitsweise des Stimulators 16 von Fig. 1 ist beispielhaft in Fig. 4 dargestellt. Das Verfahren beginnt in Schritt 20 mit der Initialisierung der Zeiten  $t_p$  und  $t_{\text{stim}}$  auf die Werte  $t_p = 0$ ,  $t_{\text{stim}} = 0$ . Dabei bezeichnet  $t_p$  eine Zeit, in der ein Parameter P überwacht wird, und  $t_{\text{stim}}$  eine  
10 Stimulationszeit.

In Schritt 22 wird überprüft, ob die Fehlervarianz  $\text{var}_p$  größer ist als eine maximale Fehlervarianz  $\text{var}_{p,\text{max}}$ . Falls  
15 Nein (N) bleibt der Stimulator 16 deaktiviert. Bleibt die Fehlervarianz  $\text{var}_p$  für eine Zeitdauer  $t_p$  größer  $t_{p,\text{max}}$  (Schritt 23) dagegen größer als  $\text{var}_{p,\text{max}}$ , wird ein dem Parameter P zugeordneter Stromverlauf  $I_{\text{Batt,soll,p}}$  eingepreßt (Schritt 24 und 26). Dies erfolgt so lange, bis die Varianz  $\text{var}_p$  des  
20  $\text{var}_{p,\text{max}}$  dieses Parameters P ist oder die Stimulationsdauer  $t_{\text{stim}}$  größer ist als eine vorgegebene maximale Dauer  $t_{\text{stim,max}}$  (Überprüfung in Schritt 27). Die Variable  $t_{\text{stim}}$  für die Stimulationsdauer wird in Schritt 25 iterativ um jeweils eine Abtastperiode  $T_{\text{Ab}}$  erhöht.

25 Fig. 5 zeigt eine spezielle Ausgestaltung eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers 1 zur Bestimmung des ohmschen Innenwiderstandes  $R_i$  eines Bleiakкумуляtors 3. Der Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie 3 ist eine entscheidende  
30 Größe bei der Bestimmung eines Batteriezustands, wie z.B. der Leistungsfähigkeit der Batterie 3 oder der noch entnehmbaren Ladung.

Der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer 1 umfasst zwei  
35 mathematische Teilmodelle 4, 5, von denen das erste Gültigkeit im gesamten Frequenzbereich hat und das zweite Teilmodell 5 nur bei Frequenzen größer gleich 1 kHz gültig

ist. Entsprechend ist dem ersten Teilmodell 4 kein Filter und dem zweiten Teilmodell 5 ein Hochpassfilter 7 vorgeschaltet.

Das erste Teilmodell 4 umfasst eine mathematische

5 Modellbeschreibung des Ersatzschaltbildes von Fig. 2a.

Dagegen umfasst das zweite Teilmodell 5 eine mathematische Beschreibung des Ersatzschaltbildes von Fig. 2b, das im wesentlichen nur aus dem Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie 3 besteht. Beschränkt man sich nämlich auf einen

10 Frequenzbereich in der Größenordnung von 1 kHz und betrachtet nur hochfrequente Wechselanteile von Strom  $I_{Batt}$  und Spannung  $U_{Batt}$ , so können die Kapazitäten des Ersatzschaltbildes von Fig. 2a als kurzgeschlossen betrachtet werden. Die einzig verbleibende Komponente ist in diesem Fall der

15 Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie.

Das erste Teilmodell 4 hat im folgenden Fall nur Gültigkeit für den Entladebetrieb, da sich der Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie 3 im Ladebetrieb nur schwer aus den wenigen

20 Messgrößen Strom  $I_{Batt}$ , Spannung  $U_{Batt}$  und Temperatur  $T_{Batt}$  abschätzen lässt.

Für das erste Teilmodell 4, dem die Schätzfehler  $U_{Batt} - U_{Batt}^{\wedge}$  bzw.  $U_{Batts} - U_{Batts}^{\wedge}$  zugeführt werden, gilt:

25

$$R_{i,k+1} = R_{i,k} + k_{11} (U_{Batt} - U_{Batt}^{\wedge}) + k_{21} (U_{Batt}^{\sim} - U_{Batt}^{\wedge})$$

Für das zweite Teilmodell 5 gilt:

30  $R_{i,k+1} = R_{i,k}$

Der vom ersten Teilmodell 4 berechnete Wert für den

Innenwiderstand  $R_i$  der Batterie 3 wird dem zweiten Teilmodell 5 zugeführt und kann dort z.B. als Startwert verwendet

35 werden. Die Gewichtungseinheiten für das zweite Teilmodell 5 mit den Gewichtungsfaktoren  $k_{22}$  und  $k_{12}$  können in diesem Fall entfallen. Die Gewichtungseinheiten 10,11 für die

Fehlerrückkopplung in das Teilmodell 4 bleiben dagegen bestehen.

- 5 Es ist zu beachten, dass im Ladebetrieb der Gewichtungsfaktor  $k_{11}$  auf Null zu setzen ist, da das erste Teilmodell 4 im Ladebetrieb nicht gültig ist. Die Gewichtungsfaktoren  $k_{11}$  und  $k_{21}$  können z.B. über einen Beobachterentwurf nach Luenberger oder Kalman bestimmt werden.



15.01.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Bezugszeichenliste

	1	Zustandsgrößen- und Parameterschätzer
	2	Ladungsprädiktor
	3	Batterie
10	4	erstes Teilmodell
	5	zweites Teilmodell
	6-9	Filter
	10-13	Gewichtungseinheiten
	14,15	Addierknoten
15	16	Stimulator
	17,18	Addierknoten
	20-27	Verfahrensschritte
	30,31	Verbindungsleitungen

15.01.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

## 5 Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Zustandsgrößen und Parametern eines mathematischen Energiespeichermodells, insbesondere eines Batteriemodells, mit Hilfe eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers (1), der aus Betriebsgrößen ( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ,  $T_{\text{Batt}}$ ) eines Energiespeichers (3) die Zustandsgrößen (Z) und Parameter (P) des mathematischen Energiespeichermodells berechnet, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) mehrere mathematische Teilmodelle (4, 5) umfasst, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche des Energiespeichers (3) gelten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Teilmodellen (4, 5) ein Strom ( $I_{\text{Batt}}$ ) oder eine Spannung ( $U_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers (3) zugeführt wird, wobei der Strom ( $I_{\text{Batt}}$ ) oder die Spannung ( $U_{\text{Batt}}$ ) durch ein Filter (6, 7) auf den für ein Teilmodell (4, 5) gültigen Frequenzbereich eingeschränkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers und einer von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ,  $I_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell (4, 5) zurückgekoppelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehler zwischen einer Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers (3) und der von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ,  $I_{\text{Batt}}^{\wedge}$ ) in ein anderes Teilmodell (5) zurückgekoppelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Fehler mittels eines Faktors  
(k) gewichtet wird.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass eine von einem Teilmodell (4, 5)  
berechnete Zustandsgröße (Z) und/oder ein berechneter  
Parameter (P) einem anderen Teilmodell (5) zugeführt wird.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsgrößen (Z) oder  
Parameter (P) gewichtet rückgekoppelt werden.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Stimulator (16) vorgesehen  
ist, um den Strom ( $I_{\text{Batt}}$ ) oder die Spannung ( $U_{\text{Batt}}$ ), der bzw.  
die den Teilmodellen (4, 5) zugeführt wird, in einen  
gewünschten Arbeitsbereich oder Frequenzbereich zu bringen.
- 20 9. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) zum Bestimmen  
von Zustandsgrößen (Z) und Parametern (P) eines  
mathematischen Energiespeichermodells, insbesondere eines  
Batteriemo­dells, der aus Betriebsgrößen ( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ,  $T_{\text{Batt}}$ )  
eines Energiespeichers (3) die Zustandsgrößen (Z) und  
25 Parameter (P) des mathematischen Energiespeichermodells  
berechnet, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustandsgrößen-  
und Parameterschätzer (1) mehrere Teilmodelle (4, 5) umfasst,  
die für unterschiedliche Arbeits- und/oder Frequenzbereiche  
des Energiespeichers (3) gelten.
- 30 10. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach Anspruch  
9, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einem der  
Teilmodelle (4, 5) ein Filter (6, 7) vorgeschaltet ist, um  
die dem Teilmodell (4, 5) zugeführte Betriebsgröße ( $U_{\text{Batt}}$ ,  
35  $I_{\text{Batt}}$ ) des Energiespeichers (3) auf den für das Teilmodell (4,  
5) gültigen Frequenzbereich einzuschränken.

11. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsgrößen- und Parameterschätzer (1) derart gestaltet ist, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße ( $U_{Batt}$ ,  $I_{Batt}$ ) des  
5 Energiespeichers (3) und einer von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße ( $U_{Batt}^*$ ,  $I_{Batt}^*$ ) ermittelt und in das jeweilige Teilmodell (4, 5) zurückgekoppelt wird.

12. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach einem der  
10 Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsgrößen- und Parameterschätzer (1) derart gestaltet ist, dass ein Fehler zwischen einer Betriebsgröße ( $U_{Batt}$ ,  $I_{Batt}$ ) des Energiespeichers (3) und einer von einem Teilmodell (4, 5) berechneten Betriebsgröße ( $U_{Batt}^*$ ,  $I_{Batt}^*$ ) in ein anderes  
15 Teilmodell (5) zurückgekoppelt wird.

13. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine  
20 Einrichtung (10 - 13) zum Gewichten des rückgekoppelten Fehlers vorgesehen ist.

14. Zustandsgrößen- und Parameterschätzer (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein  
25 Stimulator (16) vorgesehen ist, um den Strom- oder Spannungsverlauf ( $I_{Batt}$ ,  $U_{Batt}$ ), der den Teilmodellen (4, 5) zugeführt wird, in einen gewünschten Arbeits- oder Frequenzbereich zu bringen.

15.01.2003

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Zusammenfassung

Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit mehreren  
Teilmodellen für einen elektrischen Energiespeicher

- 10 Die Erfindung betrifft einen Zustandsgrößen- und  
Parameterschätzer (1) zum Bestimmen von Zustandsgrößen und  
Parametern eines mathematischen Energiespeichermodells,  
insbesondere eines Batteriemodells, der aus Betriebsgrößen  
( $U_{\text{Batt}}$ ,  $I_{\text{Batt}}$ ,  $T_{\text{Batt}}$ ) eines Energiespeichers (3) die  
15 Zustandsgrößen (Z) und Parameter (P) des mathematischen  
Energiespeichermodells berechnet. Eine besonders einfache  
Abschätzung der Zustandsgrößen und Parameter kann  
durchgeführt werden, wenn der Zustandsgrößen- und  
Parameterschätzer (1) mehrere mathematische Teilmodelle (4,  
20 5) umfasst, die für unterschiedliche Arbeits- und/oder  
Frequenzbereiche des Energiespeichers (3) gelten.

Figur 3

1 / 4

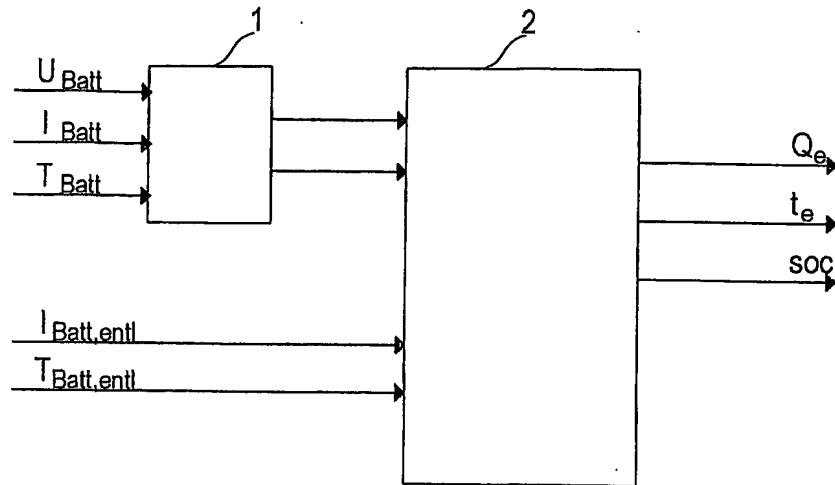


Fig. 1

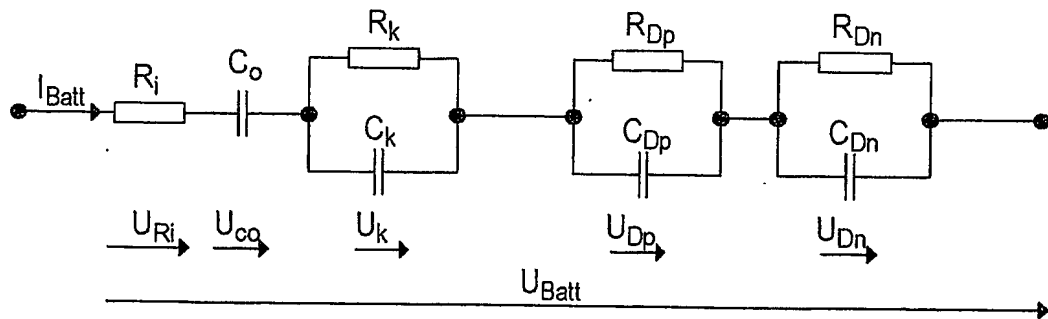


Fig. 2a

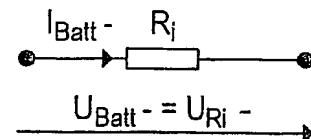


Fig. 2b

2 / 4

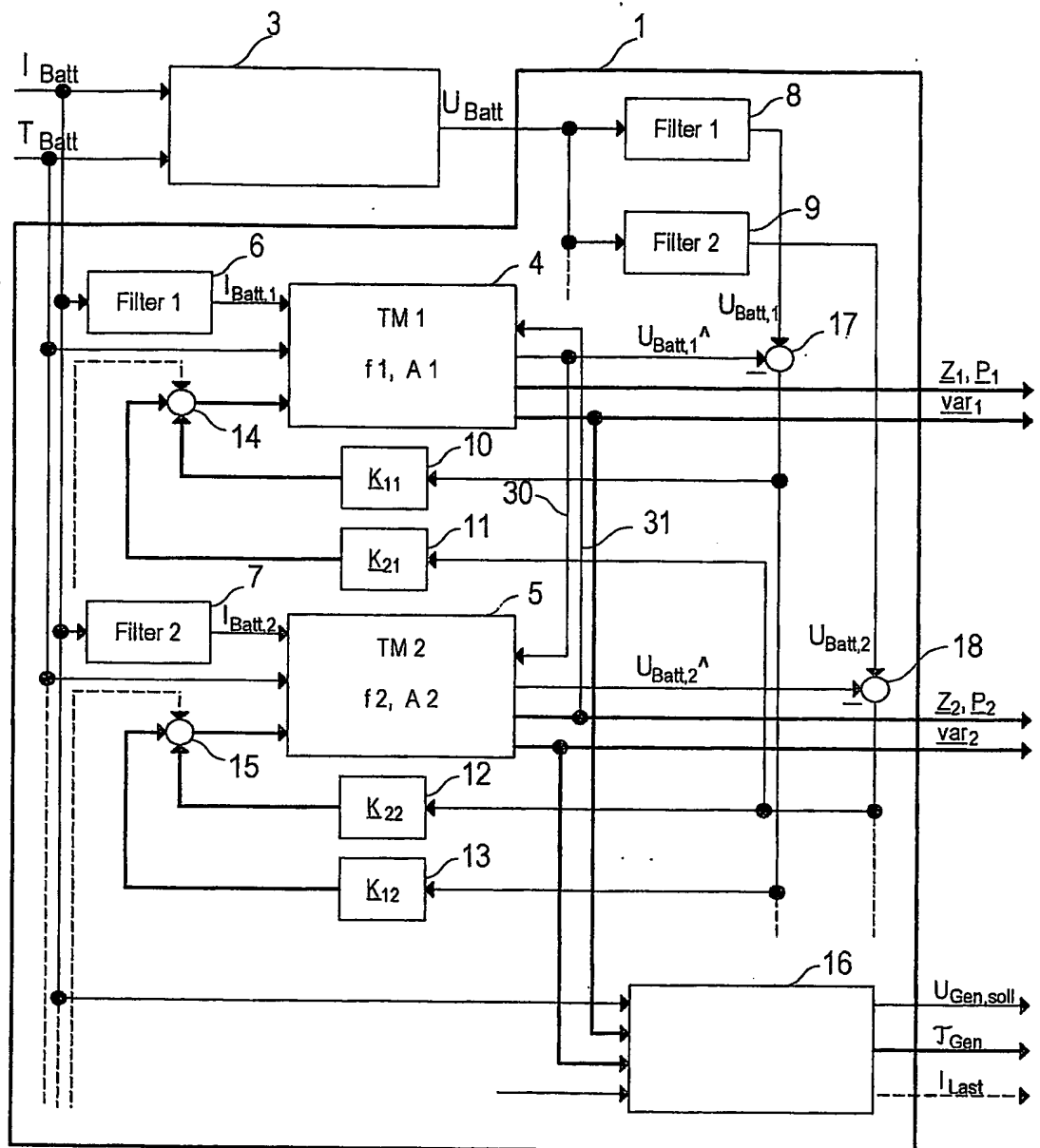


Fig. 3

3 / 4

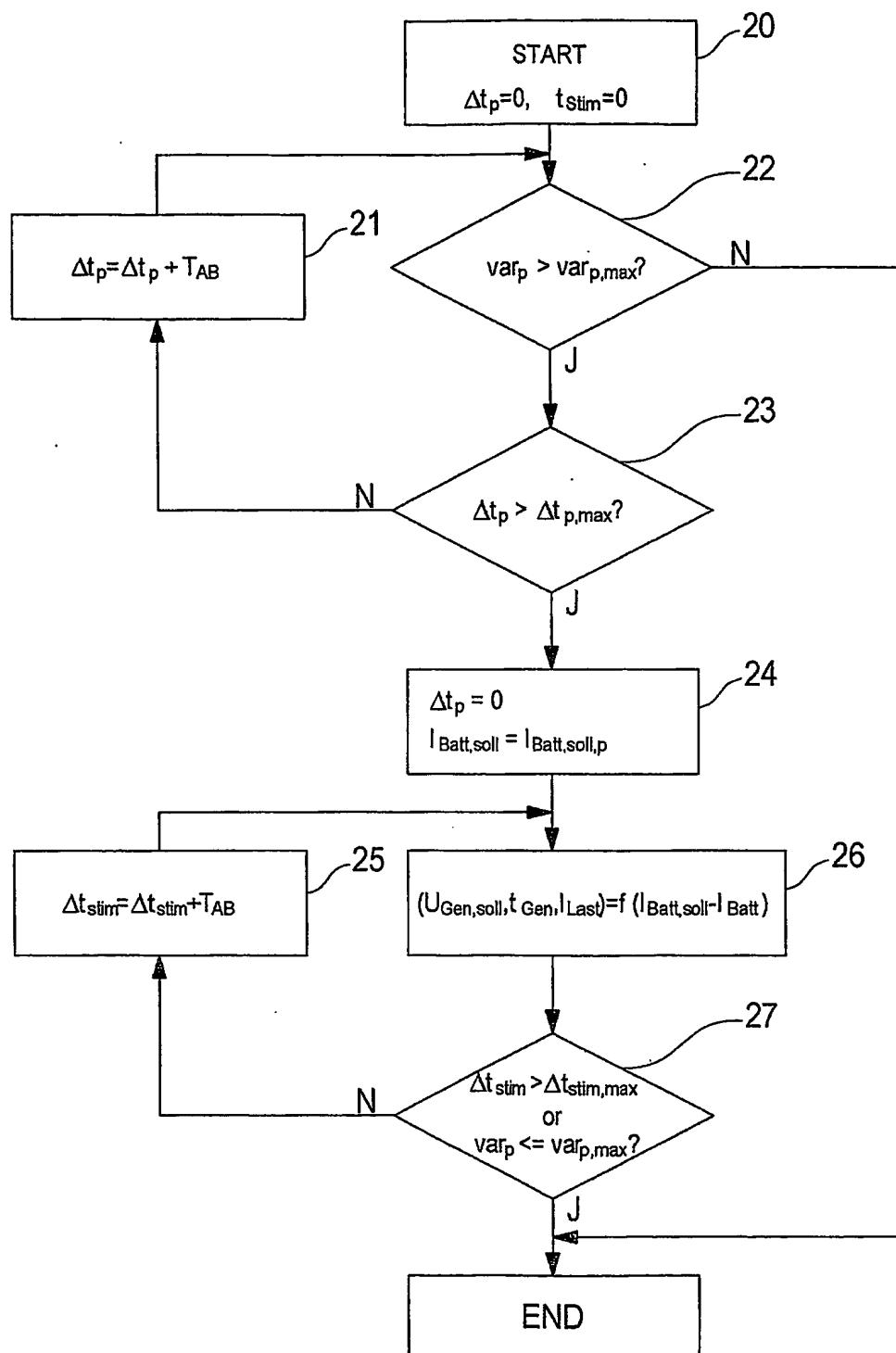


Fig. 4



4 / 4

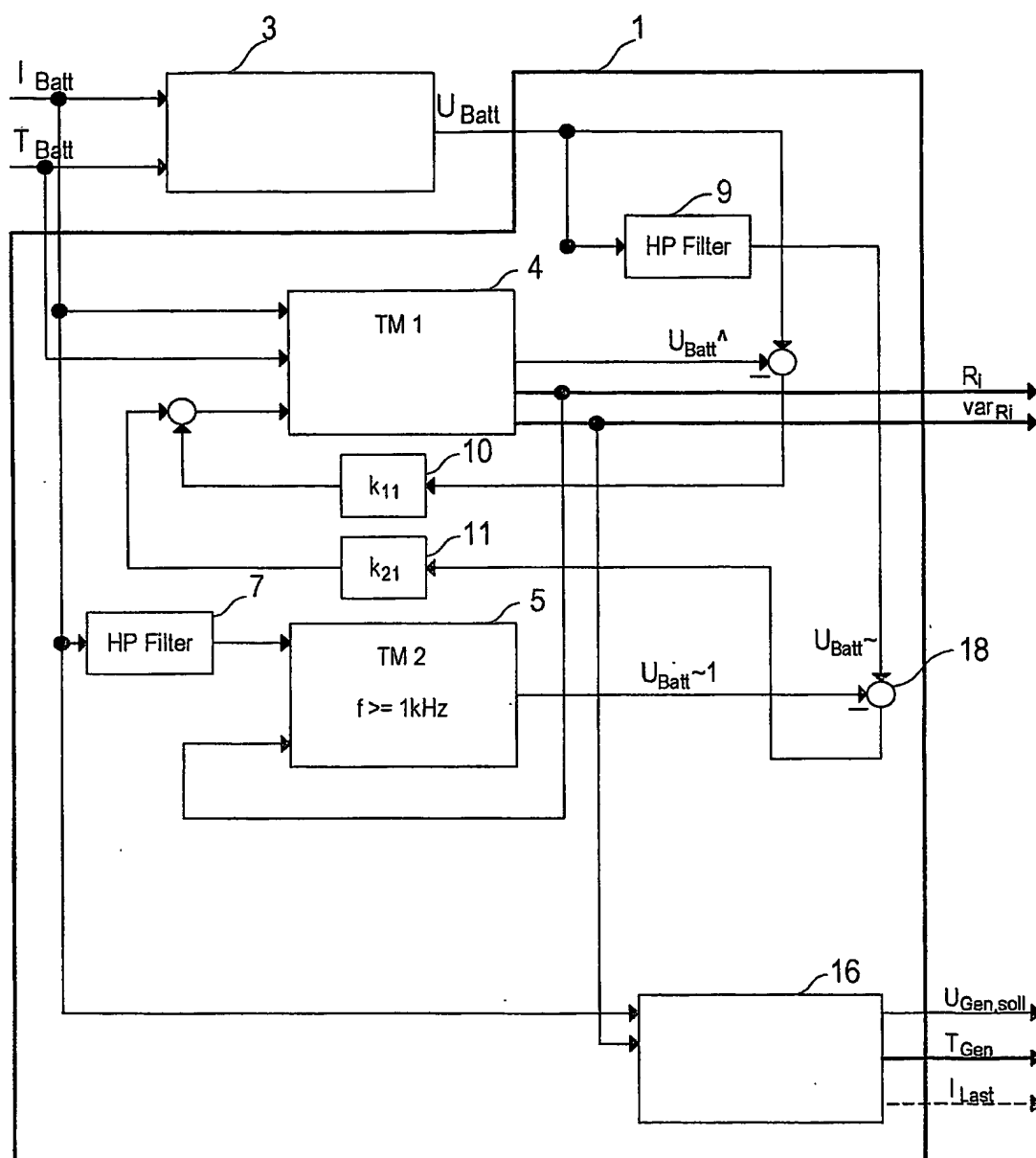


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**